

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Bakalářská práce

2017

Jan Vondál

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Vliv utvařeče třísky na silové zatížení zapichovací VBD

Effect of Chip Breakers on the Force Load Grooving Inserts

Student:

Jan Vondál

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Vondál**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**
Téma: **Vliv utvařeče třísky na silové zatížení zapichovací VBD**
Effect of Chip Breakers on the Force Load Grooving Inserts
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor daného problému.
3. Návrh experimentu.
4. Zhodnocení a závěry.

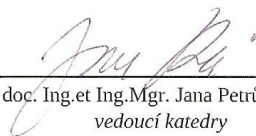
Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno. 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
[2] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inženýrstvo*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
[3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
[4] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno : CCB, s.r.o. Brno, 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016
Datum odevzdání: 15.05.2017


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Mistopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením
vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

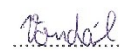
V Ostravě 15.5.2017

.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 15.5.2017


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jan Vondál

Adresa trvalého pobytu autora práce: Žerotínov 464/6, Zábřeh na Moravě 78901

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VONDÁL, Jan. Vliv utvařeče třísky na silové zatížení zapichovací VBD. Ostrava: katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2016, 45 s. Bakalářské práce, vedoucí Kratochvíl, Jiří.

Cílem bakalářské práce je zkoumat vliv utvařeče třísky na jednotlivé složky řezné síly při obrábění oceli. Při této práci byly použity vyměnitelné břitové destičky od firmy ISCAR.

Hlavní část této práce popisuje všechny části experimentu, použité zařízení, stroj k obrábění, nástroje a řezné podmínky. Následuje měření složek řezné síly a strukturální rovnice.

Závěr práce patří shrnutí získaných výsledků.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

VONDÁL, Jan. Effect of Chip Breakers on the Force Load Grooving Inserts. Ostrava: Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB / Technical University of Ostrava, 2016, 45 p. Bachelor thesis, Head: Jiří Kratochvíl.

Goal of my bachelor thesis is to investigate an effect of Chip Breakers on the individual components of cutting force during machining of steel. During this work, replaceable inserts from ISCAR were used.

The main part of this thesis describes all sections of the experiment, the used equipment, the cutting machine, tools and the cutting parameters for machining. The measurement of the cutting force components and the structural equation follows.

The conclusion concerns the summary of obtained results.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Řezné síly.....	11
2.1	Celková řezná síla	11
2.2	Měření složek síly řezání	13
2.3	Přímé měření sil a momentů	14
3	Základní rozdělení dynamometrů	15
3.1	Mechanické dynamometry	15
3.2	Hydraulické dynamometry.....	16
3.3	Pneumatické dynamometry	17
3.4	Elektrické dynamometry	17
4	Rozbor experimentu.....	19
4.1	Použitý stroj	19
4.2	Měřicí zařízení	20
4.3	Soustružnický zapichovací nůž	21
4.4	Řezný materiál	22
4.5	Použitý materiál	24
5	Experiment.....	25
5.1	Postup experimentu.....	25
5.2	Vyhodnocení experimentu	26
5.2.1	Vyměnitelná břitová destička DGN 4003J	29
5.2.2	Vyměnitelná břitová destička DGN 4003C	33
5.2.3	Vyměnitelná břitová destička GRIP 4004Y	36
5.3	Zhodnocení experimentu.....	40
6	Závěr.....	43
	Použitá literatura:	45
	Seznam elektronických příloh:.....	45

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Značka/Symbol	Význam	Jednotka
F	Celková řezná síla	[N]
F_c	Řezná složka řezné síly	[N]
F_f	Posuvová složka řezné síly	[N]
F_p	Pasivní složka řezné síly	[N]
F_a	Aktivní složka řezné síly	[N]
F_e	Pracovní složka řezné síly	[N]
F_D	Dimenzionální složka řezné síly	[N]
η	Úhel řezného pohybu	[°]
κ_r	Vedlejší úhel nastavení	[°]
ε_r	Úhel špičky břitů	[°]
λ_s	Úhel sklonu ostří	[°]
a_p	Hloubka řezu	[mm]
f	Posuv	[mm]
v_c	Řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
c_x	Tuhost dynamometru ve směru osy x	[N/μm]
c_y	Tuhost dynamometru ve směru osy y	[N/μm]
c_z	Tuhost dynamometru ve směru osy z	[N/μm]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
A	Tažnost	[%]

x_{FC}, x_{Ff}, x_{Fp}	Exponenty vlivu a_p	[-]
y_{FC}, y_{Ff}, y_{Fp}	Exponenty vlivu f	[-]
z_{FC}, z_{Ff}, z_{Fp}	Exponenty vlivu v_c	[-]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
CNC	Počítačem řízený stroj	[-]

1 Úvod

Dnes, vlivem velmi rychlého technického rozvoje, se kladou vysoké nároky na kvalitu výrobků a to vede k nahrazování lidí za bezobslužné systémy výroby. Tyto nové technologie jsou velmi náročné, co se týče jak strojů, tak nástrojů používaných v procesu obrábění. Následkem toho se během posledních let z jednoduchých strojů staly propracované víceosé obráběcí centra. Kvalitou výrobků při obráběcím procesu se rozumí stupeň shodnosti obrobené součástky s požadovanými rozměry, drsností povrchu a různými tolerancemi. Tento stupeň shodnosti je ovlivněn mnoha faktory – obráběný a obráběcí materiál, řezné podmínky, vhodné prostředí (prašnost, teplota aj.).

Tato bakalářská práce se zabývá zapichovacími vyměnitelnými břitovými destičkami, které se začali používat především pro značné zvýšení efektivity z hlediska technického i ekonomického. Pro porovnání budou použity tři zapichovací vyměnitelné břitové destičky stejného materiálu, stejných rozměrů, se stejným povlakem a s různými utvařeči třísky od firmy ISCAR.

Teoretická část bakalářské práce bude zaměřena na rozbor řezných sil a na popis dynamometrů. Bude zde popsáno, kde a jaké složky celkové řezné síly působí a také princip dynamometrů, které jsou používány na měření právě těchto složek sil – pro náš experiment bude použit elektrický dynamometr od firmy Kistler. V praktické části této práce se dostaneme k samotnému experimentu. Prvně je zde uveden rozbor experimentu, kde bude popsán stroj, měřicí zařízení, obráběcí a obráběný materiál. Další část je zaměřena na popis postupu, vyhodnocení a závěrečné zhodnocení experimentu.

2 Řezné síly

Řezný proces se realizuje jako vzájemné působení sil mezi nástrojem a obrobkem ve složité silové soustavě. Identifikace této silové soustavy nám umožňuje optimalizovat řezné podmínky obráběcího procesu. Síla při obrábění je síla, kterou je nástroj vtlačován do obráběného materiálu a následkem toho vzniká opracovaný povrch s požadovanou přesností. Řezná síla má dynamický průběh, což znamená, že v průběhu obrábění není konstantní. [8]

Tuto sílu lze vyjádřit:

- dynamicky – pomocí grafu, který zobrazuje působení sil v průběhu celého procesu obrábění
- staticky – jedná se o určení tzv. střední hodnoty vyplývající z kolísání minima a maxima během obrábění

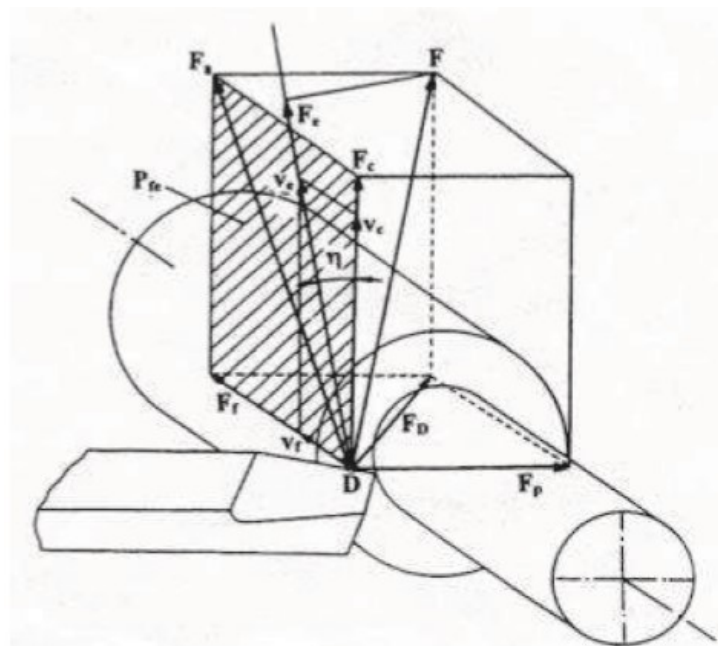
2.1 Celková řezná síla

Je zde nutno podotknout, že celková řezná síla a řezný odpor nejsou jedno a to samé. Celková řezná síla F odpovídá síle, kterou působí nástroj na obrobek. Řezný odpor R je naopak síla, kterou působí obrobek na nástroj. Někdy je také označována jako síla F' . [1]

Celková řezná síla má obecný směr a z toho důvodu je rozkládána do třech složek sil, jejichž směrové vektory jsou navzájem kolmé. Na základě znalosti směru a síly působení každé z těchto složek lze určit směr i sílu působení celkové řezné síly. Tuto sílu je možno rozložit (obr. 2.1) na jednotlivé složky F_c , F_p , F_f . [1]

Mezi celkovou řeznou silou a jejími složkami platí:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} \quad (2.1)$$



Obr. 2.1 Rozklad celkové řezné síly F při podélném soustružení D – hlavní bod ostří; F – celková složka řezné síly; F_a – aktivní složka síly; F_c – řezná složka síly; F_D – dimenzionální složka síly; F_e – pracovní složka síly; F_f – posuvová složka síly; F_p – pasivní složka síly; η – úhel řezného pohybu [4]

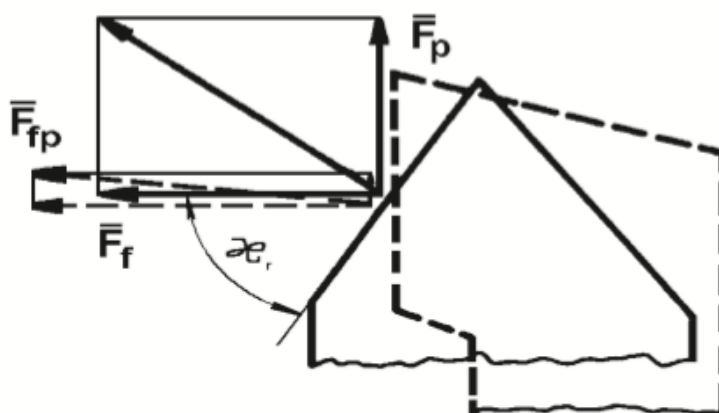
Řezná složka celkové řezné síly F_c působí ve směru hlavního řezného pohybu a určuje krouticí moment. Je největší a nejdůležitější složkou celkové řezné síly. Určuje například i výkon elektromotoru. Velikost této složky je ovlivněna především řeznými podmínkami (v_c , a_p , f), ale záleží i na obráběném materiálu, řezném materiálu atd.

Pasivní složka síly F_p působí ve směru radiálním vzhledem k obrobku či nástroji a je kolmá na směr ostatních složek. Zároveň je i kolmá k obráběné ploše. Je funkcí specifického tlaku či přísluvu, kterým je přitlačený nástroj k obrobku. Ovlivňuje především odchylky geometrického tvaru, polohy, rozměrovou přesnost obráběných ploch, drsnost povrchu, tuhost obráběcího stroje a nástroje.

Posuvová (axiální) složka řezné síly F_f působí ve směru osy obrobku anebo nástroje. Je kolmá na směr tangenciální i radiální složky a využívá se na dimenzování posuvových mechanismů.

I úhel nastavení a poloměr zaoblení ostří mají značný vliv na rozložení síly soustružení. Dalším faktorem, který ovlivňuje jednotlivé složky sil, je úhel sklonu ostří λ_s . Působí na směr odcházející třísky, což ovlivňuje i velikost deformační práce. Velikost řezné

složky síly ovlivňuje úhel hřbetu (obr. 2.2). Poloměr špičky bříty ε_r řezného nástroje má také vliv na celkovou řeznou sílu a její složky, nýbrž opačný oproti vlivu úhlu nastavení κ_r . Jedním z velmi silných vlivů je řezné prostředí. [5]



Obr. 2.2 Vliv úhlu nastavení κ_r na pasivní složku F_p a posuvovou složku F_f [1]

V obrábění se užívají k vyjadřování celkových řezných síl nebo jejich složek empirické vztahy, které mají tvar:

$$F_c = c_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \cdot v_c^{z_{Fc}} \quad [\text{N}] \quad (2.2)$$

$$F_f = c_{Ff} \cdot a_p^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} \cdot v_c^{z_{Ff}} \quad [\text{N}] \quad (2.3)$$

$$F_p = c_{Fp} \cdot a_p^{x_{Fp}} \cdot f^{y_{Fp}} \cdot v_c^{z_{Fp}} \quad [\text{N}] \quad (2.4)$$

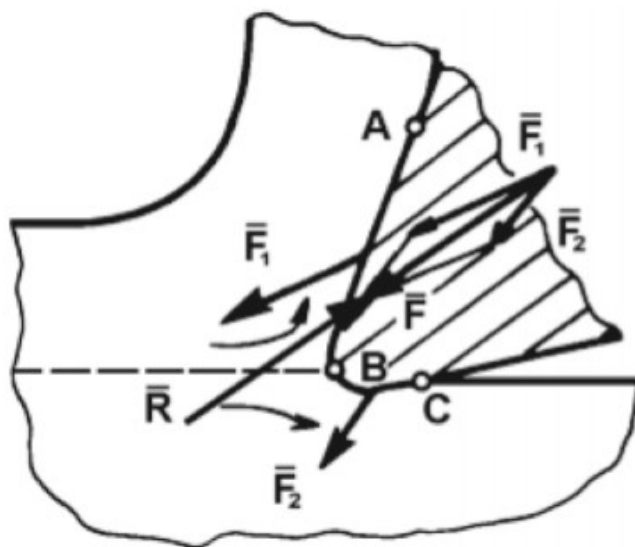
Konstanty C_{Fc} , C_{Fp} , C_{Ff} a exponenty x_{Fc} , x_{Fp} , x_{Ff} , y_{Fc} , y_{Fp} , y_{Ff} , z_{Fc} , z_{Fp} , z_{Ff} , jsou pro dané podmínky řezného procesu empiricky stanovené. [4]

2.2 Měření složek síly řezání

Při zkoumání tvorby třísky se prokázalo, že při vnikání řezného klínu do materiálu obrobku vzniká v obráběném materiálu obrobku stav napjatosti, který způsobuje dělení tohoto materiálu. Tento proces doprovází plastické a elastické deformace. Při tomto procesu se ovšem neprosazují pouze deformační jevy, ale i silové poměry. [5]

V případě, že budeme znát silové poměry procesu řezání, tak je možné získat přehled o mechanickém namáhání soustavy z hlediska pevnosti a tuhosti a i dynamické stability

Jednou z velmi významných veličin tohoto procesu je síla obrábění, která se chová, jako veličina časově proměnná. Stav napjatosti v obráběném materiálu způsobuje řezný odpor R , který síla obrábění musí při řezném procesu neustále překonávat (obr. 2.4).



2.3 Přímé měření sil a momentů

a) Velikost zatěžující síly F určuje tuhost dynamometrů a způsobuje deformaci y . Velikost této deformace závisí na tvaru a provedení deformačního elementu – čidla, na celkovém konstrukčním provedení dynamometru i na použité měřicí metodě. U dynamometru je velmi důležitá tuhost při měření dynamickém.

- b) Stálost údajů dynamometrů je závislá na citlivosti, tuhosti a přesnosti od stanovené nulové polohy až po zachycení údajů o sledované veličině během celé doby měření.
- c) Zajištění, aby se složky řezné síly vzájemně neovlivňovali, má na starost konstrukce dynamometrů.
- d) Citlivost použité měřicí metody a tuhost konstrukčního provedení dynamometru souvisí s jeho citlivostí. Musí mít takovou citlivost, že nejmenší odečítaná jednotka při dodržení dostatečné přesnosti odpovídala celkové hodnotě měřené veličiny.
- e) Reprodukovatelnost údajů dynamometrů souvisí s výše uvedenými charakteristikami.
- f) Přímě úměrně na hmotnosti soustavy závisí setrvačnost dynamometrů. Zvláště při dynamických měřeních, kdy je nutno sledovat, jak skutečné hodnoty maximálních a minimálních hodnot měřené síly řezání, tak i její časový průběh, by měla být pokud možno co nejmenší. [1]

3 Základní rozdělení dynamometrů

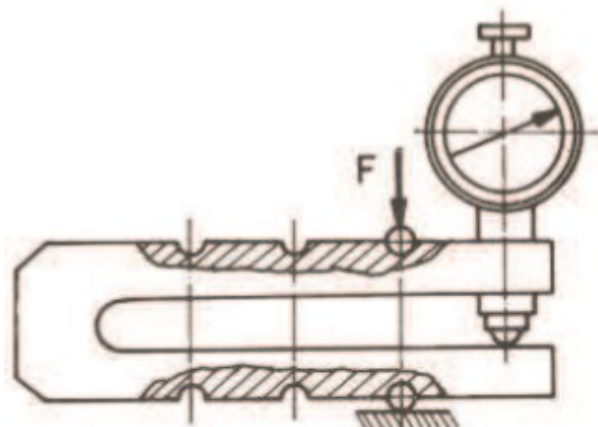
Následující hlediska rozdělení dynamometrů:

- a) Dle metody obrábění jsou dynamometry pro vrtání, frézování, soustružení, broušení atd., případně jsou tu i dynamometry univerzální.
- b) Počet měřených složek síly řezání dělí dynamometry na jednosložkové, dvousložkové, třínožkové a pro měření točivých (kroutících) momentů.
- c) Podle metody, která je aplikovaná k přenosu působení sil z deformačního členu na indikační: v tomto případě se jedná o dynamometry mechanické, pneumatické, elektrické, hydraulické (indukční, kapacitní, odporové, využívající piezoelektrického jevu) a optické.[1]

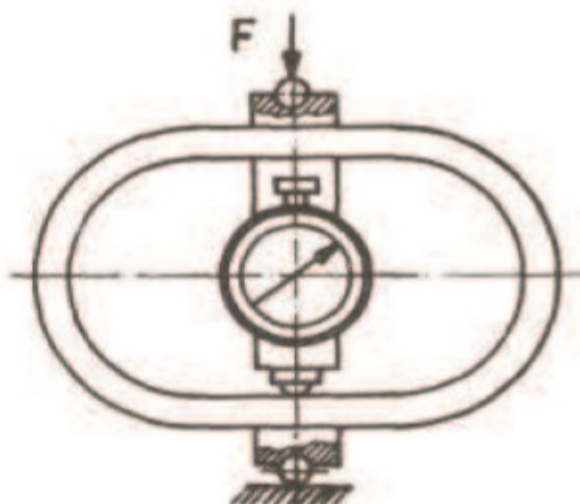
3.1 Mechanické dynamometry

Pro cejchování zbývajících druhů dynamometrů se nejčastěji používají dynamometry mechanické, protože u nich je možné většinou vyloučit nežádoucí rušivé vlivy. U těchto dynamometrů se působení síly přenáší na měřicí prvek buď přímo, anebo znásobeno mechanickým převodem, jako je například číselníkový úchylkoměr. Z deformace silových pružin, třmenů, nosníků, kroužků, membrán, dokonce i dle hloubky vtlačení kuličky do materiálu se usuzuje o velikosti síly. Existuje tedy několik typů, ale hlavním představitelem

této skupiny dynamometrů je dynamometr třmenový (obr. 3.1). Pro zatížení až do 10 000 N a dynamometr kruhový či prstencový pro zatížení ještě vyšší (obr. 3.2). [1]



Obr. 3.1 Mechanický dynamometr třmenový [1]



Obr. 3.2 Mechanický dynamometr prstencový [1]

3.2 Hydraulické dynamometry

Přenos měření síly nebo momentu na píst nebo membránu hydraulického obvodu je základem hydraulických dynamometrů. Tento pohyb totiž způsobuje změnu tlaku v kapalině, která je následně snímána pomocí manometru, či jiným přístrojem. Tyto dynamometry mají možnost snadného měření více složek síly současně a zároveň jsou jednoduché – co se konstrukce týče. Mezi nevýhody těchto dynamometrů patří nízká citlivost, požadavky na dokonalé utěsnění systému a velká setrvačnost, což je důvodem proč se dnes používají spíše výjimečně. [1]

3.3 Pneumatické dynamometry

Snímač deformace pneumatickým systémem klapka – tryska je podstatou pneumatických dynamometrů. Tento systém využívá dynamických vlastností vzduchu procházejícího štěrbinou. Princip pneumatických dynamometrů je založen na měření změny tlaku, či průtoku v závislosti na změně výtokového průřezu mezi klapkou a tryskou v deformačním elementu. Výhodou je vysoká spolehlivost a citlivost s porovnání s elektrickými způsoby, snadná obsluh a údržba a poměrně nízké náklady na pořízení a provoz. [1]

3.4 Elektrické dynamometry

Elektrické dynamometry patří mezi nejrozšířenější a nejvíce používané v technické praxi. (obr. 3.3). Charakteristické vlastnosti elektrických dynamometru:

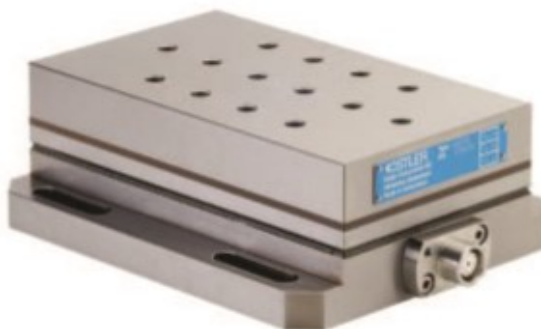
- a) možnost snímání signálu při rotujících a pohybujících se součástech,
- b) možnost vhodné registrace zachycených signálů různých průběhů a frekvencí,
- c) snadný přenos dálkového signálu s celou řadou možných úprav,
- d) využití miniaturních měřicích elementů,
- e) snadná dostupnost napájecích zdrojů a čistota provozu.

Způsoby mechanicko-elektrické transformace nám udávají dva základní systémy elektrických dynamometrů:

- a) Systém generátorový je založený na vzniku proudu či napětí při deformaci elementů – piezoelektrický jev
- b) Systém parametrický je založený na změně jednoho ze tří parametrů elektrického obvodu – odporu R , indukčnosti L či kapacity C [1]



a) pro soustružení



b) pro broušení



c) pro frézování



d) pro vrtání

Obr. 3.3 Dynamometry KISTLER pro měření složek řezné síly [2]

4 Rozbor experimentu

Tato část bakalářské práce se zabývá jednotlivými prvky použitými při experimentu – CNC soustruh MoriSeiki NLX 2500/700, dynamometr 9129AA Kistler, soustružnický zapichovací nůž MAHR 25 s vyměnitelnou nožovým adaptérem HGPAD 4R-T12, materiál 1.6722 a 3 typy vyměnitelných břitových destiček určených k zapichování.

4.1 Použitý stroj

Celý experiment byl proveden na stroji DMG MoriSeiki NLX 2500/700 (obr. 4.1) s použitím přídatného zařízení – Dynamometr typ 9129AA od firmy Kistler.



Obr. 4.1 Stroj DMG MoriSeiki NLX2500/700 [9]

Tab. 4.1 Základní údaje o stroji Mori Seiki NLX 2500/700 [6]

Parametr	Hodnota
Maximální průměr soustružení	366 mm
Maximální délka soustružení	705 mm
Pojezd v ose X	260 mm
Pojezd v ose Y	795 mm
Maximální otáčky vřetena	6000 min ⁻¹
Kapacita nástrojů	12
Rychloposuv v ose X a Z	30000 mm.min ⁻¹
Rychloposuv koníka	20000 mm.min ⁻¹
Pojezd koníka	734 mm
Výkon vřetena stroje	18,5 kW
Hmotnost	5500 kg
Rozměry stroje	3,9 x 2 x 1,9 m

4.2 Měřicí zařízení

V této bakalářské práci byl pro naměření příslušných hodnot použit dynamometr typ 9129AA od firmy Kistler (obr. 4.2).



Obr. 4.2 Dynamometr typ 9129AA od firmy Kistler [2]

Dynamometr se skládá ze čtyř tří-složkových silových senzorů, které jsou připevněny pod vysokým předpětím mezi krycí deskou a dvěmi postranními základovými deskami. Vzhledem k jejich patentované konstrukci senzorů je dosaženo malé teplotní chyby. Každý ze silových senzorů obsahuje 3 disky z oxidu křemičitého (SiO₂), z nichž jeden je citlivý na tlak ve směru osy y a další dva reagují na smykovou sílu ve směru os X a Z. Tyto síly jsou měřené

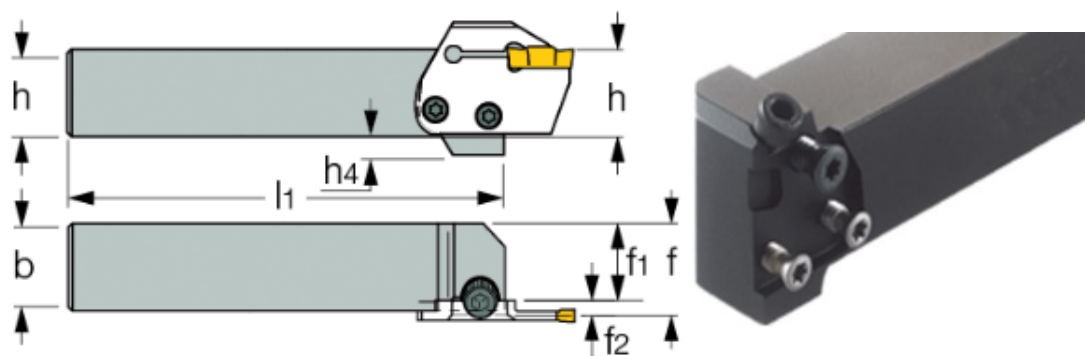
bez posuvu disků. Výstupy ze čtyř vestavěných senzorů jsou připojeny v dynamometru tak, aby bylo možné vícesložkové měření sil a momentů. Všechny čtyři senzory jsou namontovány s uzemněním. To do značné míry odstraňuje problémy se zemní smyčkou. Dynamometr je korozi odolný a chráněný proti průniku chladicí kapaliny.

Tab. 4.2 Technické parametry dynamometru Kistler 9129AA [10]

Měřicí rozsah	F_x, F_y, F_z	-10...10	kN
Tuhost	c_x, c_z	1000	N/ μm
	c_y	4000	N/ μm
Citlivost	F_x, F_z	$\approx -8,1$	pC/N
	F_y	$\approx -4,1$	pC/N
Váha		3,2	kg
Rozměry upínací		90x105	mm
Rozměry celkové		107x150	mm

4.3 Soustružnický zapichovací nůž

Pro tento experiment byl zvolen vhodný soustružnický zapichovací nůž MAHR 25 (obr. 4.3).

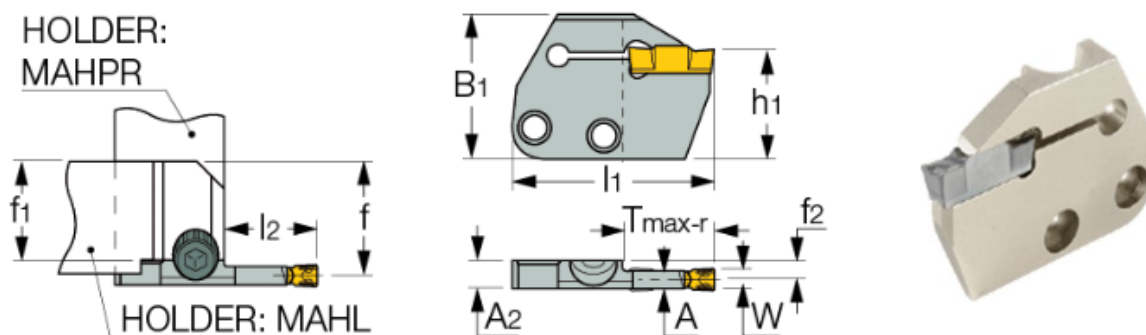


Obr. 4.3 Soustružnický nůž MAHR 25 [7]

Tab. 4.3 Základní rozměry soustružnického nože MAHR 25 [7]

h [mm]	B [mm]	l1 [mm]	h4 [mm]	f1 [mm]
25	25	130	5	22,1

Tento soustružnický zapichovací nůž má vyměnitelný adaptér pro různé typy zapichovacích destiček. Konkrétně v našem případě byl zvolen vyměnitelný adaptér od firmy ISCAR s označením HGPAD 4R-T12 (obr. 4.4). Pro tento adaptér jsou vhodné VBD GRIP 4, DGN 4.



Obr. 4.4 Nožový vyměnitelný adaptér HGPAD 4R-T12 [7]

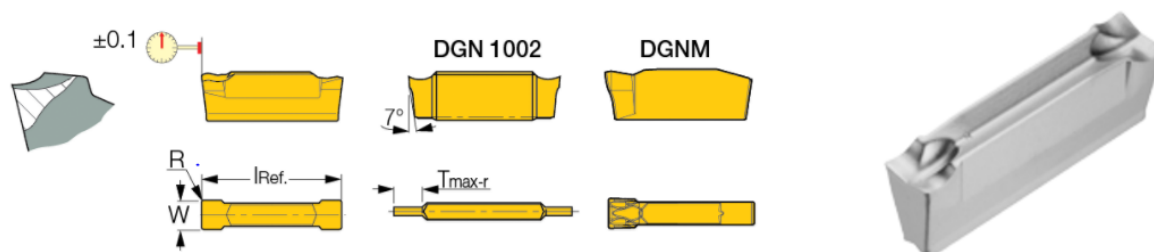
Tab. 4.4 Základní rozměry nožového vyměnitelného adaptéru HGPAD 4R-T12 [7]

l_2 [mm]	f_2 [mm]	A [mm]	A_2 [mm]	l_1 [mm]	B_1 [mm]	h_1 [mm]
18,7	4,4	3,3	6	43,2	32	24

4.4 Řezný materiál

Jako řezný nástroj byly použity 3 vyměnitelné břitové destičky od firmy ISCAR. Tyto vyměnitelné břitové destičky mají stejný materiál IC808 (Submikronový substrát s vynikající odolností proti opotřebení a povlakem TiAlN PVD - doporučeno pro obrábění žáruvzdorných slitin, austenitických nerezí, tvrdých slitinových a uhlíkových ocelí) a rozdílné utvařeče třísek – DGN 4003J, DGN 4003C a GRIP 4004Y. [3]

Vyměnitelná břitová destička DGN 4003J (Obr. 4.5)



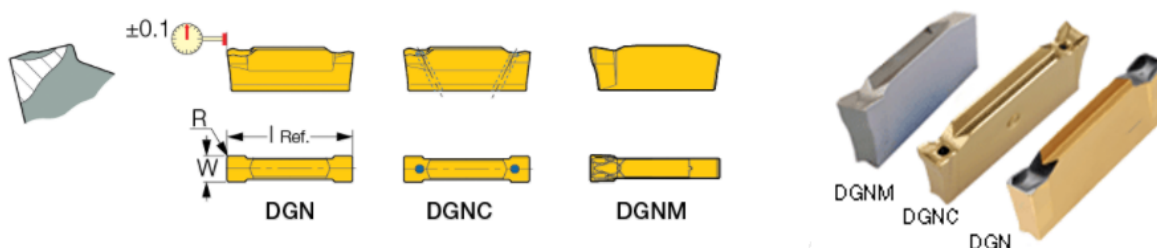
Obr. 4.5 Vyměnitelná břitová destička DGN 4003J [7]

Tab. 4.5 Řezné podmínky vyměnitelné břitové destičky výše uvedené destičky [7]

W	R	I _{Ref.}	f _{zmin}	f _{zmax}	V _{cmin}	V _{cmax}
4	0.30	18.90	0.05	0.18	80	180

Tento typ vyměnitelných břitových destiček je vhodný pro zapichování měkkých materiálů, rozdělování trubek, malých průměrů a tenkostěnných dílů. Obecná aplikace na nízkouhlíkové, slitinové a austenitické nerezové oceli.

Vyměnitelná břitová destička DGN 4003C (Obr. 4.6)



Obr. 4.6 Vyměnitelná břitová destička DGN 4003C [7]

Tab. 4.6 Řezné podmínky vyměnitelné břitové destičky výše uvedené destičky [7]

W	R	I _{Ref.}	f _{zmin}	f _{zmax}	V _{cmin}	V _{cmax}
4	0.30	18.90	0.10	0.30	80	180

Vyměnitelná břitová destička GRIP 4004Y (Obr. 4.7)



Obr. 4.7 Vyměnitelná břitová destička GRIP 4004Y [7]

Tab. 4.7 Řezné podmínky vyměnitelné břitové destičky výše uvedené destičky [7]

W	R	M	I _{Ref.}	a _{pmin}	a _{pmax}	f _{zmin}	f _{zmax}	V _{cmin}	V _{cmax}
4	0.40	2.80	19	0.50	2.40	0.10	0.30	80	180

4.5 Použitý materiál

Pro tento experiment byl zvolen materiál 1.6722 - 16NiCrMo16-5. Jedná se o legovanou konstrukční ocel s výrazně vysokou mezí pevnosti a pevnosti v tahu. Mezi další vlastnosti tohoto materiálu patří dostatečná plastičnost a houževnatost. Koncentrace slitinových prvků tohoto druhu oceli je poměrně vysoká – zejména ocel odolná proti korozi, tepelně odolná ocel, ocel odolná proti opotřebení a další speciální oceli fyzikálních a chemických vlastností. [11]

Tab. 4.8 Chemické vlastnosti oceli 1.6722 v % [11]

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0.12-0.18	≤ 0.50	≤ 0.50	≤ 0.030	≤ 0.025	1.00-1.40	4.00-4.50	0.15-0.45

Tab. 4.9 Mechanické vlastnosti oceli 1.6722 [11]

R _m [MPa]	R _e [Mpa]	Tažnost A10 [%]
1450	1150	12

5 Experiment

Cílem experimentu bylo sledování jednotlivých složek sil při vnějším zapichování v závislosti na změně řezné rychlosti a posuvu. Jedná se o složky F_x (radiální složka), F_y (hlavní řezná složka) a F_z (axiální složka). K vyhodnocování tohoto zatížení bylo využito elektrického dynamometru Kistler 9129AA.

Značení os na dynamometru je potřeba přiřadit k jednotlivým složkám celkové řezné síly - Osa označena na dynamometru jako F_x nám určuje pasivní složku F_f , osa F_y hlavní řeznou složku F_c a osou F_z je označena posuvová složka F_p .

5.1 Postup experimentu

Prvně byl upnut dynamometr na revolverovou hlavu s nástroji. Na dynamometr byl pomocí přípravku připevněn soustružnický zapichovací nůž s vyměnitelným adaptérem i s jednou ze tří vyměnitelných břitových destiček s vyložení nástroje 45.05 mm. Dále byl dynamometr skrz voděodolný kabel připojen přes zesilovač k měřicímu zařízení, které bylo zároveň propojeno s počítačem, kde nám příslušný software zobrazil hodnoty na výstupu, které byly použity k dalším výpočtům. Námi vybraný materiál o průměru $D = 150$ mm a délce $l = 250$ mm byl upnut do sklíčidla a podepřen koníkem. Vzhledem k hrubému povrchu materiálu bylo nutno tento povrch osoustružit, aby byla jednotlivá měření co nejpřesnější.

Po celou dobu experimentu se měnili řezné podmínky pro každou vyměnitelnou břitovou destičku kromě šířky úběru třísky, která zůstala konstantní. Pro každé měření byly vysoustruženy 3 zápichy o šířce 4 mm a hloubce 2 mm. Mezi jednotlivými zápichy byly mezery 2 mm. Aby se předešlo otázce opotřebení vyměnitelné břitové destičky a následným chybám v měření, byla vždy použita nová řezná hrana. Použité hrany byly označeny číslicí (Obr. 5.1).

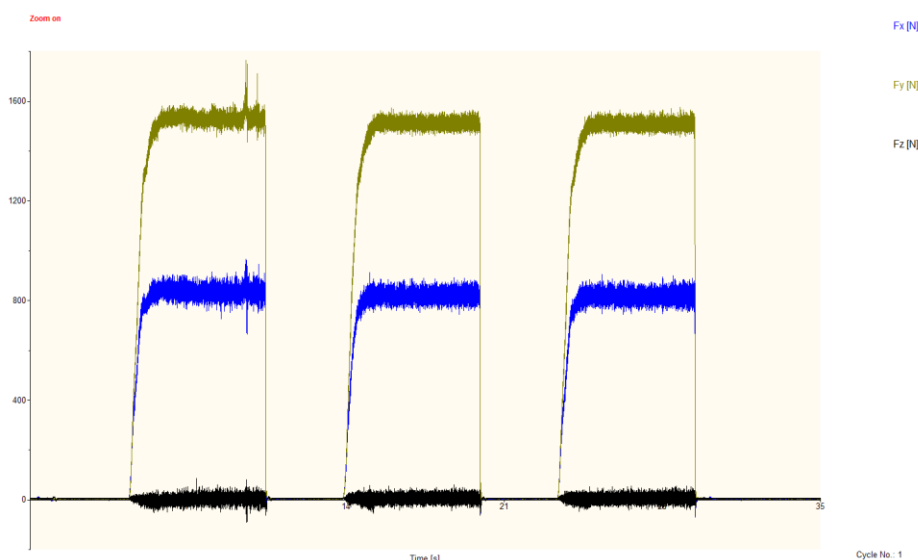


Obr. 5.1 VBD s označenými použitými utvařeči třísek

Aby bylo možno porovnat výsledky měření různých utvařečů třísky, tak bylo nutno určit společné řezné podmínky, které splňovali všechny 3 typy destiček. Proto byl určen posuv $f = 0,1 - 0,2 \text{ mm/t}$ a řezná rychlost $v_c = 80 - 180 \text{ m/min}$. Pro každý typ vyměnitelné břitové destičky byly zvoleny 3 hodnoty z obou parametrů a to – minimální, maximální a střední hodnota.

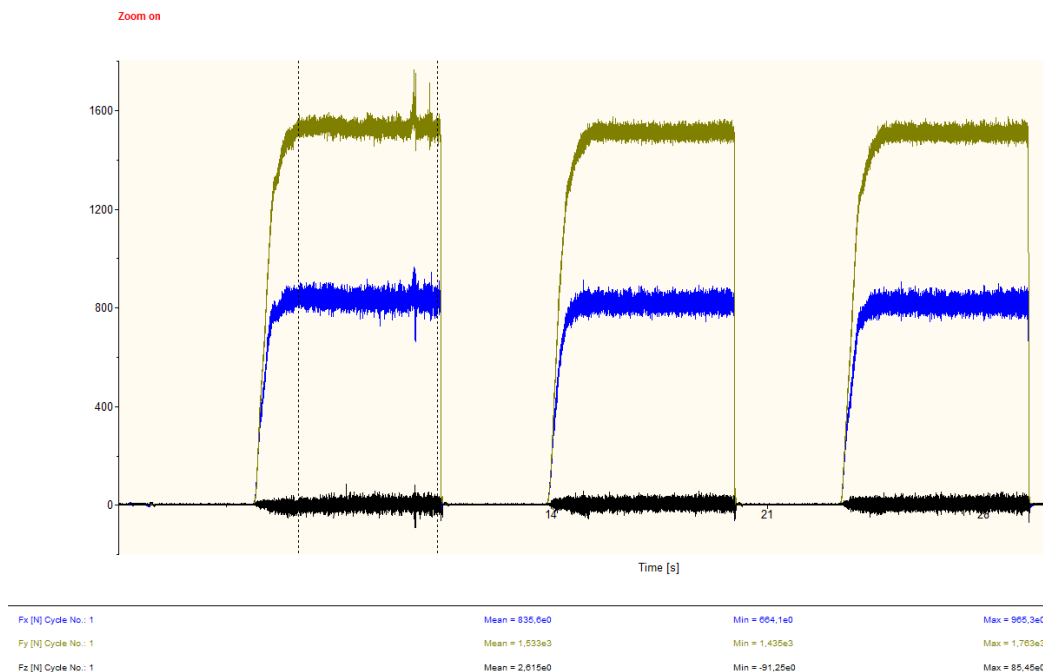
5.2 Vyhodnocení experimentu

V této části bakalářské práce bude zobrazen postup k získání průměrných hodnot jednotlivých složek sil a celkové řezné síly, ze kterých byly následně vytvořeny výsledné grafy a strukturální rovnice.



Obr. 5.2 Průběh měření

Při každém měření byly na výstupu 3 grafy (obr. 5.2), jelikož byly vždy prováděny 3 zápichy. Je zde vidět, že síly při obrábění mají dynamický průběh. Aby bylo možno získat průměrnou hodnotu jednotlivých složek sil, bylo nutno daným softwarem vyhodnotit každý graf zvlášť a následně tyto hodnoty zprůměrovat. Tento software je schopen z každého grafu zjistit maximální, minimální a střední hodnotu jednotlivých složek sil.



Obr. 5.3 Hodnoty jednotlivých složek sil u prvního grafu (DGN 4003J, $v_c = 130 \text{ m/min}$, $f = 0,15 \text{ mm}$)

Zde (obr. 5.3) je možno vidět, že tyto hodnoty software určuje v určitém časovém intervalu nastavitelném dvěma svislými čarami. První svislá čára určující počátek vymezené oblasti byla umístěna hned po náběhu, kdy se složky řezné síly ustálí. Vzhledem k tomu, že konec grafu je téměř okamžitý, tak druhá svislá čára vyznačující konec této oblasti byla umístěna těsně před koncem grafu. Tímto způsobem byly vymezeny oblasti u všech grafů při každém měření.

V tabulce (5.1) jsou průměrné hodnoty z 9 měření vyměnitelné břitové destičky DGN 4003J (řádek 2 odpovídá řádce 2 v tabulce 5.2). Spodní indexy u každé složky řezné síly nám říkají, o jaký graf se v daném měření jedná. Aby bylo dosaženo co největší přesnosti, tak byly tyto tři hodnoty pro každou složku řezné síly zprůměrovány. Výsledné průměrné hodnoty jednotlivých složek sil jsou uvedeny v následující tabulce (5.2), kde je uvedena i celková řezná síla. Tato síla je vypočítaná pouze ze dvou složek síly (F_c a F_f) právě z toho důvodu, že F_p je zanedbatelná v poměru k F_c a F_f , tudíž s ní není v žádném z měření nadále počítáno.

Vzorový výpočet celkové řezné síly pro řezné podmínky - $v_c = 80$ m/min, $f = 0,2$ mm:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2} \quad (5.1)$$

$$F = \sqrt{1849^2 + 1094^2} \quad (5.2)$$

$$F = 2148 \text{ N} \quad (5.3)$$

Následně jsou v jednotlivých grafech zobrazeny různé závislosti. Například závislost jednotlivých složek sil a celkové řezné síly na měnící se řezné rychlosti a konstantním posuvu. Nejdůležitější jsou ale logaritmické grafy, kde je zobrazena závislost celkové řezné rychlosti na měnících se řezných podmínkách, protože jsou zde uvedeny pomocí funkce v Excelu rovnice regrese. Pomocí těchto rovnic je možno určit konstanty C_1 , C_2 a exponenty y_F , z_F . K vyjádření celkové řezné síly bude využito empirických vztahů a právě těchto konstant a exponentů. Konkrétně pro vyměnitelnou břitovou destičku DGN 4003J byl výpočet proveden následovně:

- $C_1 = 4486,3$
- $y_F = 0,4496$
- $C_2 = 5935,6$
- $z_F = -0,302$

$$C_F^1 = \frac{C_1}{v_c^{z_F}} = \frac{4486,3}{80^{-0,302}} = 16850,84 \quad (5.4)$$

$$C_F^2 = \frac{C_2}{f^{y_F}} = \frac{5935,6}{0,1^{0,4496}} = 16713,39 \quad (5.5)$$

$$C_F = \frac{C_F^1 + C_F^2}{2} = \frac{16850,84 + 16713,39}{2} = 16782,12 \quad (5.6)$$

$$F = C_F \cdot f^{y_F} \cdot v_c^{z_F} = 16782,12 \cdot f^{0,4496} \cdot v_c^{-0,302} [N] \quad (5.7)$$

5.2.1 Vyměnitelná břitová destička DGN 4003J

Tab. 5.1 Průměrné hodnoty jednotlivých složek sil pro VBD DGN 4003J

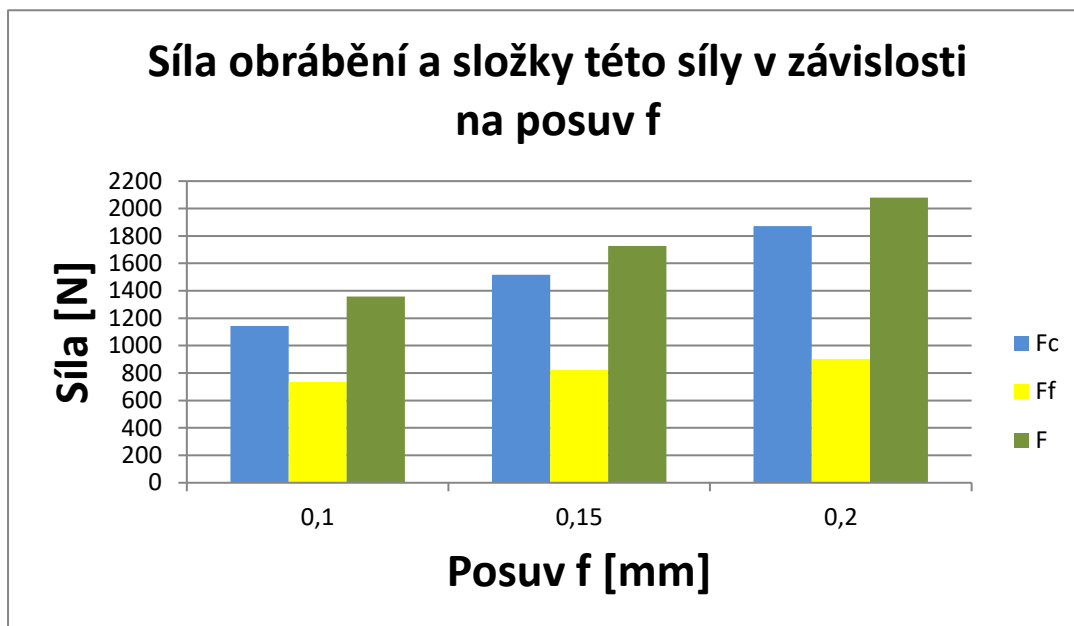
	F_{f1} [N]	F_{f2} [N]	F_{f3} [N]	F_{c1} [N]	F_{c2} [N]	F_{c3} [N]	F_{p1} [N]	F_{p2} [N]	F_{p3} [N]
1	858,3	895,7	890,7	1292	1322	1316	13,43	15,51	13,36
2	1015	1007	1018	1683	1662	1667	19,73	21,73	20,85
3	1093	1092	1097	1845	1850	1852	19,7	21,74	15,51
4	742	734	731	1148	1141	1139	16,58	17,12	17,12
5	835	820	818	1533	1511	1508	2,57	5,991	5,74
6	905	903	900	1881	1871	1866	29,71	28,89	29,39
7	632	629	627	1068	1064	1060	5,2	3,4	4,8
8	758	758	755	1445	1445	1441	10,82	7,65	8,153
9	851	838	837	1815	1795	1795	11,22	19,12	19,19

Tab. 5.2 Tabulka použitých řezných parametrů, průměrných hodnot složek sil a celkové síly

	v_c =[m/min]	f =[mm]	a_p =[mm]	F_p [N]	F_c [N]	F_f [N]	F [N]
1	80	0,1	4	14	1310	882	1579
2	80	0,15	4	21	1671	1013	1954
3	80	0,2	4	19	1849	1094	2148
4	130	0,1	4	17	1143	736	1359
5	130	0,15	4	5	1517	824	1727
6	130	0,2	4	29	1873	903	2079
7	180	0,1	4	4	1064	629	1236
8	180	0,15	4	9	1444	757	1630
9	180	0,2	4	17	1802	842	1989

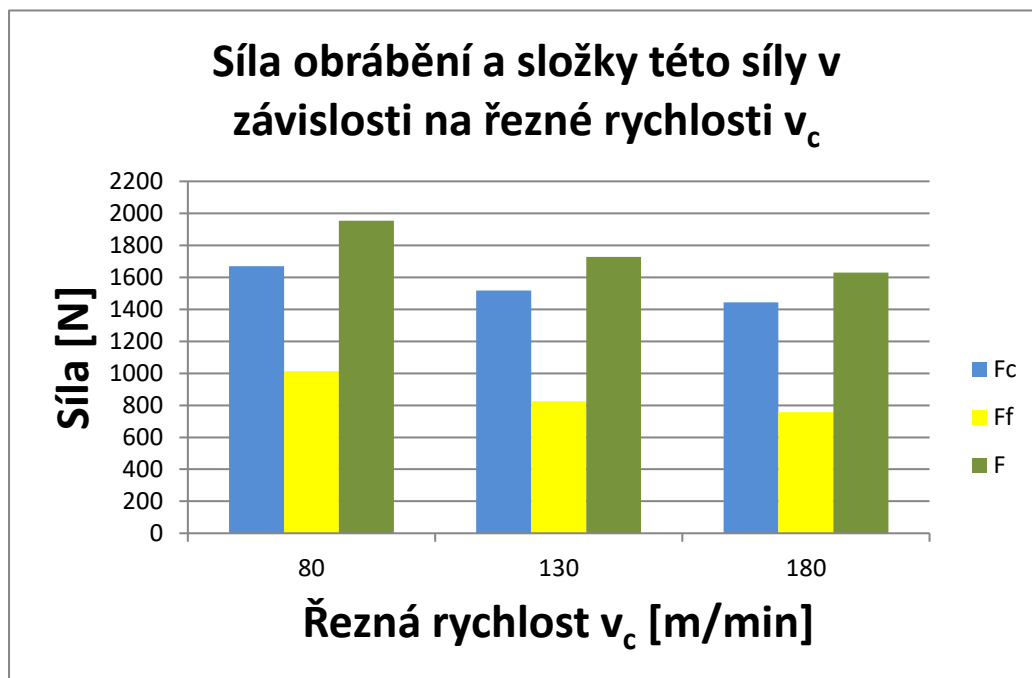
V těchto tabulkách (5.1 a 5.2) bylo provedeno 9 měření s vyměnitelnou břitovou destičkou DGN 4003J IC808 a lze zde vidět, jaké řezné podmínky byly určeny a následně použity. Zároveň je zde možné vidět průměrné hodnoty složek sil a to – F_p (pasivní složka síly), F_c (řezná složka síly), F_f (posuvová složka síly) a F (celková řezná síla).

Je zde také vidět, za jakých podmínek mají jednotlivé složky síly hodnotu, například řezná složka síly má nejvyšší hodnotu v případě, že hodnota řezné rychlosti $v_c = 130$ m/min a posuvu $f = 0,2$ mm.



Graf 5.1 Zobrazení hodnot jednotlivých složek sil v závislosti na posuvu při konstantní řezné rychlosti $v_c = 130 \text{ m/min}$

Na grafech (5.1 a 5.2) lze vidět hodnoty jednotlivých řezných složek sil a celkové řezné síly F . Na grafu (5.1) lze vidět, že řezná složka síly se mění přímo úměrně se zvyšující hodnotou posuvu, což dle našeho teoretického úsudku, je odpovídající. Stejně tak posuvová složka se zvětšuje se zvyšujícím se posuvem, ale už ne tak razantně. Vyrůstající hodnota celkové řezné síly vyplývá z již uvedených složek sil.



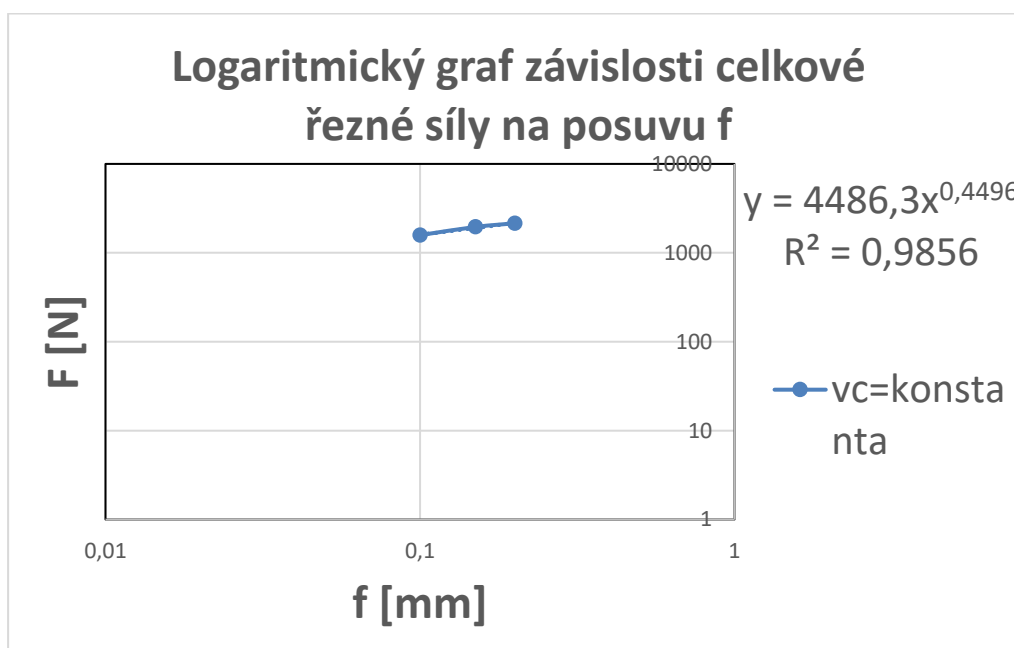
Graf 5.2 Zobrazení hodnot jednotlivých složek sil v závislosti na řezné rychlosti při konstantním posuvu $f = 0,15 \text{ mm}$

Při konstantním posuvu a měnící se řezné rychlosti, graf (5.2), lze vidět již předpokládané výsledky. Se zvyšující se řeznou rychlostí se snižují jednotlivé složky řezné síly a tím i výsledná řezná síla. Zároveň je zde vidět nepřímá úměra – při prvním navýšení řezné rychlosti se jednotlivé složky řezné síly zmenšily o větší hodnotu, než při druhém navýšení řezné rychlosti.

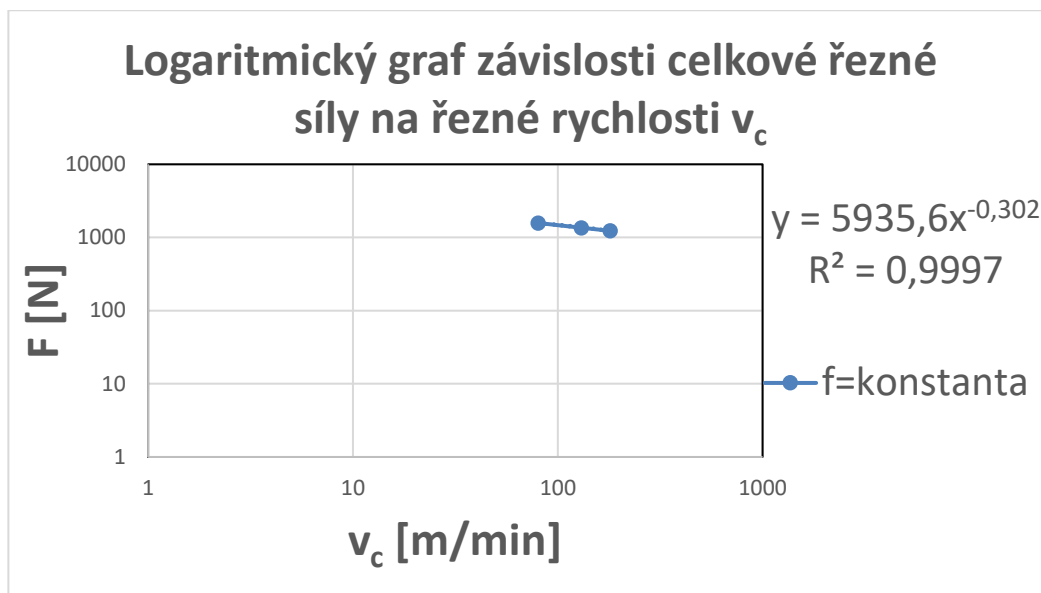
- **Strukturální rovnice celkové řezné síly:**

Na logaritmickém grafu (5.3) je možno vidět vliv posuvu na celkovou řeznou sílu. Obdobnou závislost lze vidět na logaritmickém grafu (5.4), kde je posuv zaměněn za řeznou rychlost. Grafy závislostí jednotlivých složek síly na posuvu a řezné rychlosti jsou uvedené v elektronické příloze č.1.

$$F = C_F \cdot f^{y_F} \cdot v_c^{z_F} = 16782,12 \cdot f^{0,4496} \cdot v_c^{-0,302} [N] \quad (5.8)$$

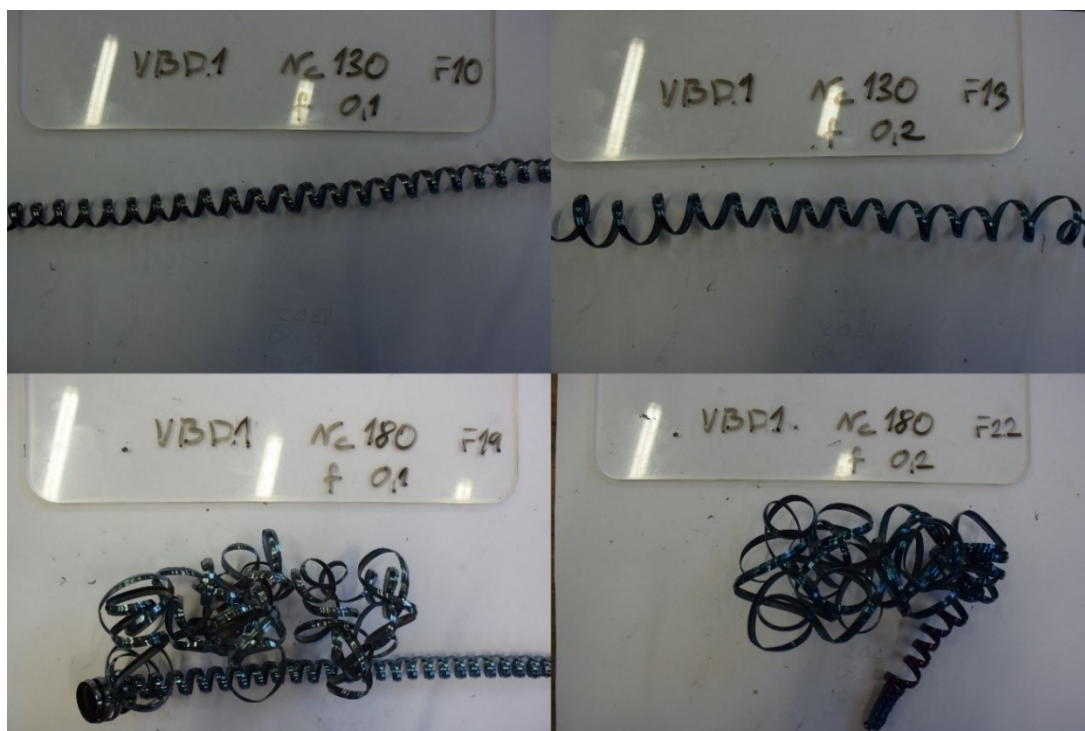


Graf 5.3 Vliv posuvu na celkovou řeznou sílu v logaritmickém grafu při konstantní řezné rychlosti $v_c = 130 \text{ m/min}$



Graf 5.4 Vliv řezné rychlosti na celkovou řeznou sílu v logaritmickém grafu při konstantním posuvu $f = 0,15 \text{ mm}$

Příklady tvorby třísky:



Obr. 5.4 Příklady tvorby třísky při různých řezných podmínkách

Zde (obr. 5.4) si je možné všimnout, že při řezné rychlosti $v_c = 130 \text{ m/min}$ byla tříska vinutá dlouhá a to pro minimální i maximální posuv, což je z hlediska odchodu třísky z místa řezu požadované. Při řezné rychlosti $v_c = 180 \text{ m/min}$ a posuvu $f = 0,1 \text{ mm}$ byla po krátkou dobu tříska také vinutá dlouhá, ale následně se změnila v třísku motanou, což už není vhodné. U téže řezné rychlosti a posuvu $f = 0,2 \text{ mm}$ to probíhalo stejným způsobem, akorát rychleji.

5.2.2 Vyměnitelná břitová destička DGN 4003C

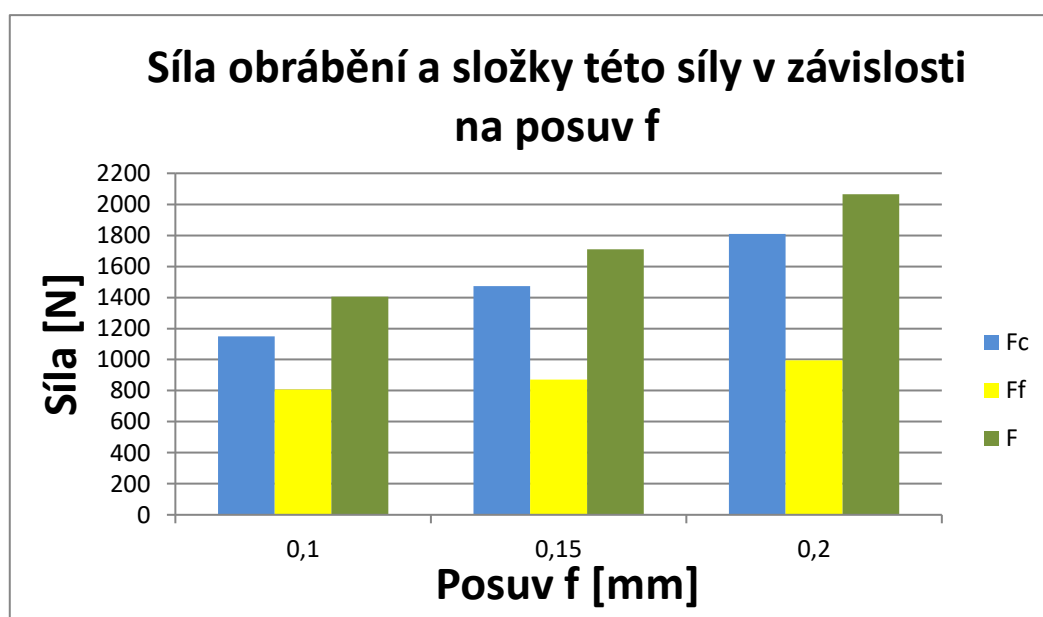
Tab. 5.3 Průměrné hodnoty jednotlivých složek sil pro VBD DGN 4003C

	F_{f1} [N]	F_{f2} [N]	F_{f3} [N]	F_{c1} [N]	F_{c2} [N]	F_{c3} [N]
1	859	851	848	1243	1234	1231
2	970	955	954	1597	1582	1576
3	1071	1065	1063	1886	1889	1892
4	807	809	808	1154	1150	1147
5	874	869	868	1478	1470	1469
6	999	994	990	1817	1809	1804
7	762	775	771	1085	1086	1081
8	909	910	926	1439	1434	1441
9	992	1012	1007	1762	1767	1762

Tab. 5.4 Tabulka použitých řezných parametrů, průměrných hodnot složek sil a celkové síly

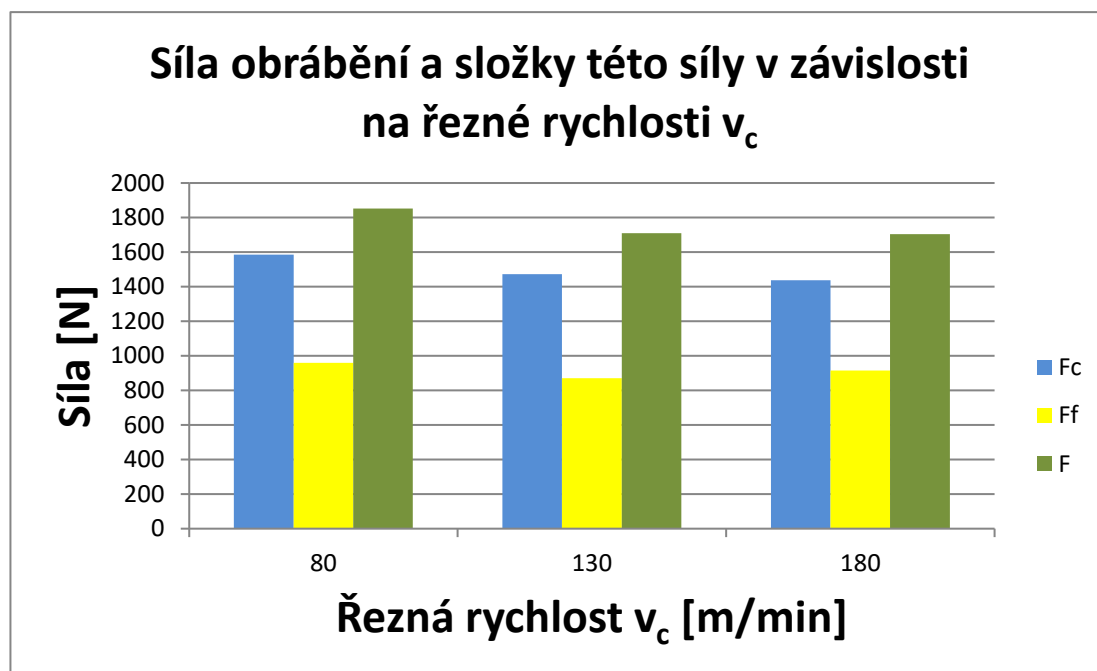
	v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]	F_c [N]	F_f [N]	F [N]
1	80	0,1	4	1236	853	1502
2	80	0,15	4	1585	960	1853
3	80	0,2	4	1889	1066	2169
4	130	0,1	4	1150	808	1406
5	130	0,15	4	1472	870	1710
6	130	0,2	4	1810	994	2065
7	180	0,1	4	1084	769	1329
8	180	0,15	4	1438	915	1704
9	180	0,2	4	1764	1004	2029

V tabulkách (5.3 a 5.4) bylo provedeno taktéž 9 měření s vyměnitelnou břitovou destičkou DGN 4003C IC808. U téhle vyměnitelné břitové destičky si lze všimnout, že vliv na všechny složky sil má posuv trochu větší, než řezná rychlost.



Graf 5.5 Zobrazení hodnot jednotlivých složek sil v závislosti na posuvu při konstantní řezné rychlosti $v_c = 130$ m/min

Na grafu (5.5) je možno vidět, že na měnící se hodnoty jednotlivých složek sil má větší vliv především změna posuvu. Všechny jednotlivé složky sil a tudíž i celková řezná síla mají vzestupný charakter, přičemž znovu je nejvíce ovlivněna řezná složka síly.

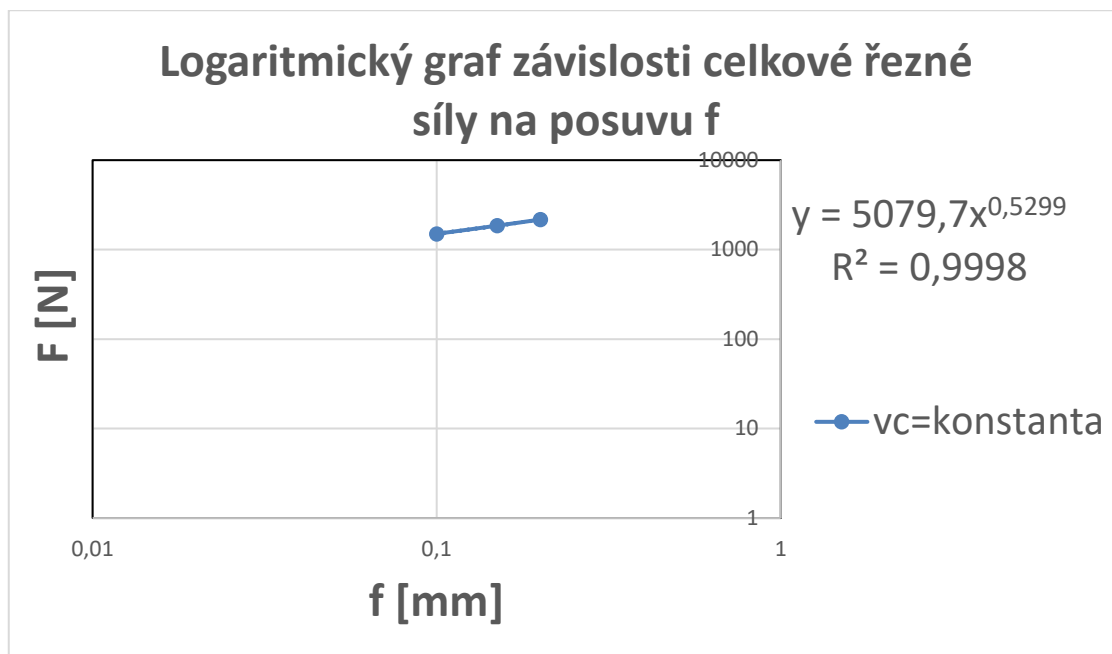


Graf 5.6 Zobrazení hodnot jednotlivých složek sil v závislosti na řezné rychlosti při konstantním posuvu $f = 0,15 \text{ mm}$

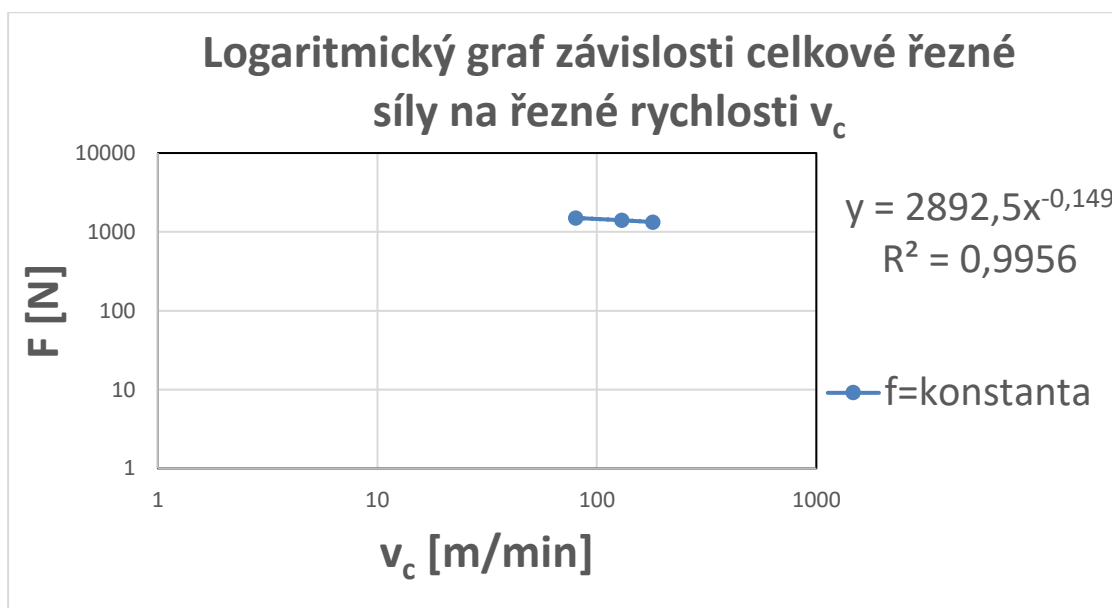
Z grafu (5.6) lze vyčíst, že řezná složka síly se zvyšující se řeznou rychlostí klesá a stejně jako při předchozí použité destičce DGN 4003J IC808 je úbytek této složky síly větší při prvním navýšení řezné rychlosti, než při tom druhém. Co se týče posuvové složky síly, tak ta měla také klesající tendenci, ale při řezné rychlosti $v_c = 180 \text{ m/min}$ hodnota této síly najednou vzrostla, což se neshoduje s naší teorií, že při zvyšování řezné síly klesají hodnoty všech složek celkové řezné síly.

- **Strukturální rovnice celkové řezné síly:**

$$F = C_F \cdot f^{y_F} \cdot v_c^{z_F} = 9778,828 \cdot f^{0,5299} \cdot v_c^{-0,149} [N] \quad (5.9)$$



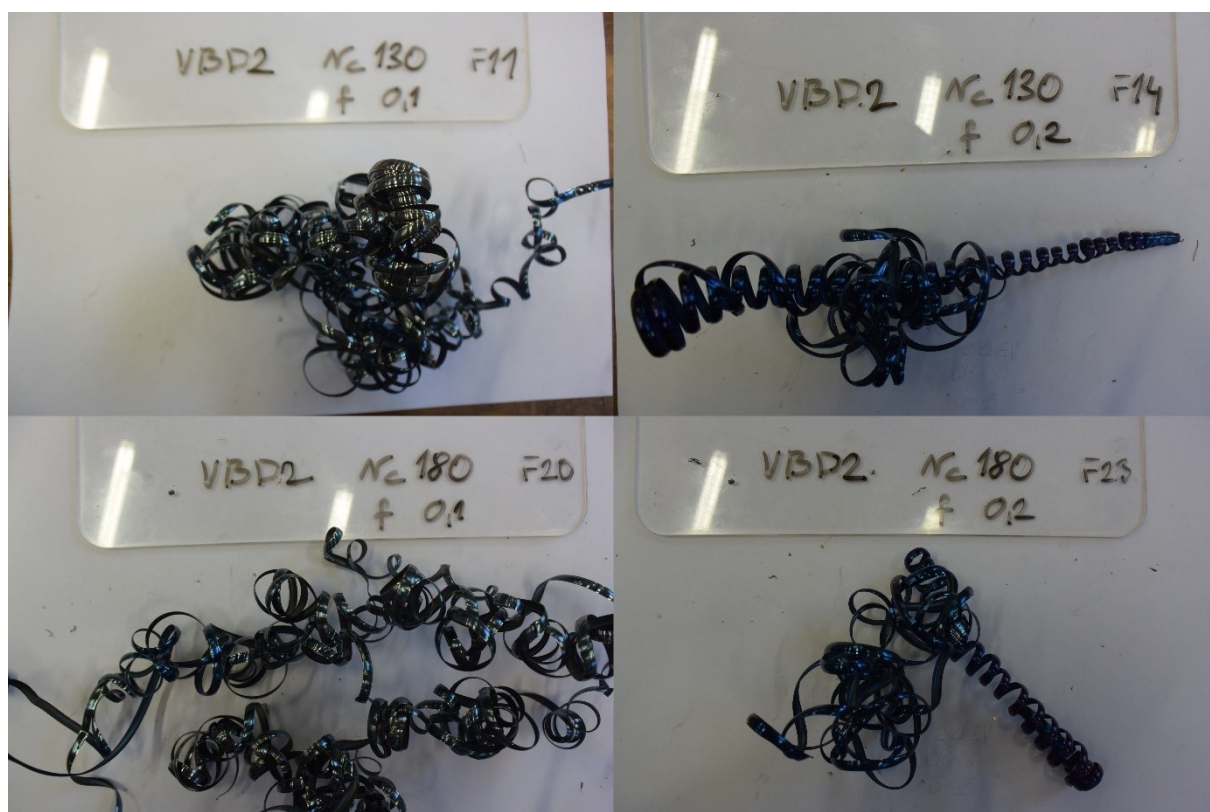
Graf 5.7 Vliv posuvu na celkovou řeznou sílu v logaritmickém grafu při konstantní řezné rychlosti $v_c = 130 \text{ m/min}$



Graf 5.8 Vliv řezné síly na celkovou řeznou sílu v logaritmickém grafu při konstantním posuvu $f = 0,15 \text{ mm}$

Na tomto obrázku (5.5) lze vidět, že nehledě na řezné podmínky, měla tříska problémy s odcházením z místa řezu. Vždy začínala jako vinutá dlouhá a během zlomku vteřiny se změnila na motanou.

Příklady tvorby třísky:



Obr. 5.5 Příklady tvorby třísky při různých řezných podmínkách

5.2.3 Vyměnitelná břitová destička GRIP 4004Y

Tab. 5.5 Průměrné hodnoty jednotlivých složek sil pro VBD GRIP 4004Y

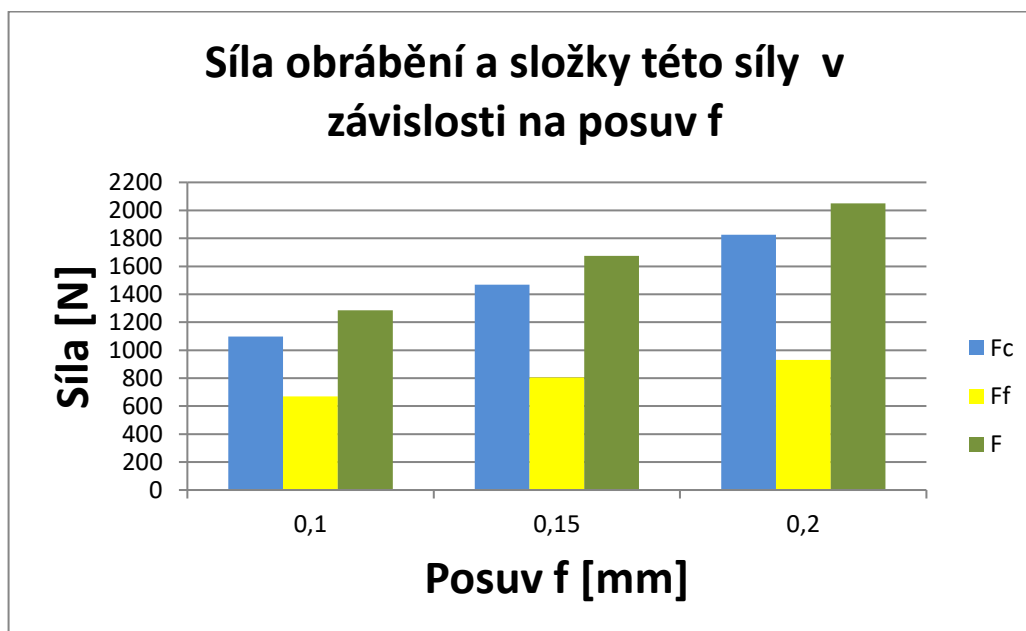
	F_{f1} [N]	F_{f2} [N]	F_{f3} [N]	F_{c1} [N]	F_{c2} [N]	F_{c3} [N]
1	695	694	694	1181	1176	1174
2	854	855	856	1567	1562	1561
3	1013	1001	996	1881	1889	1890
4	667	668	672	1099	1097	1095
5	796	805	812	1473	1464	1466
6	922	933	934	1831	1827	1822
7	668	689	706	1055	1060	1066
8	846	885	893	1442	1448	1447
9	922	931	937	1786	1789	1795

Tabulka vstupních hodnot z měření (5.5) nutná pro vypočítání středních hodnot jednotlivých složek sil.

Tab. 5.6 Tabulka použitých řezných parametrů, průměrných hodnot složek sil a celkové síly

	v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]	F_c [N]	F_f [N]	F [N]
1	80	0,1	4	1177	694	1367
2	80	0,15	4	1563	855	1782
3	80	0,2	4	1887	1003	2137
4	130	0,1	4	1097	669	1285
5	130	0,15	4	1468	804	1674
6	130	0,2	4	1827	930	2050
7	180	0,1	4	1060	688	1264
8	180	0,15	4	1446	875	1690
9	180	0,2	4	1790	930	2017

Na této tabulce (5.6) je možno vidět, že hodnoty jednotlivých složek síly jsou řeznou silou a posuvem ovlivněny obdobně, jako u předchozích destiček, což znamená, že největší vliv na tyto síly má posuv.



Graf 5.9 Zobrazení hodnot jednotlivých složek sil v závislosti na posuvu při konstantní řezné rychlosti $v_c = 130$ m/min

Na grafu (5.9) lze vidět průměrné hodnoty řezných složek sil a celkové řezné síly při měnícím se posuvu a konstantní řezné rychlosti $v_c = 130$ m/min. Konkrétně řezná složka síly F_c vzrostla o 730 N během zvýšení posuvu f z 0,1 mm na 0,2. Posuvová složka síly při stejném navýšení hodnoty posuvu vzrostla o 261 N. Tento fakt potvrzuje naši teorii, že při zvětšování posuvu rostou jednotlivé složky sil. Je ovšem zajímavé, že i když se posuv zvětšil o 100%, tak vliv na jednotlivé složky sil a celkovou řeznou sílu tak vysoký nebyl.

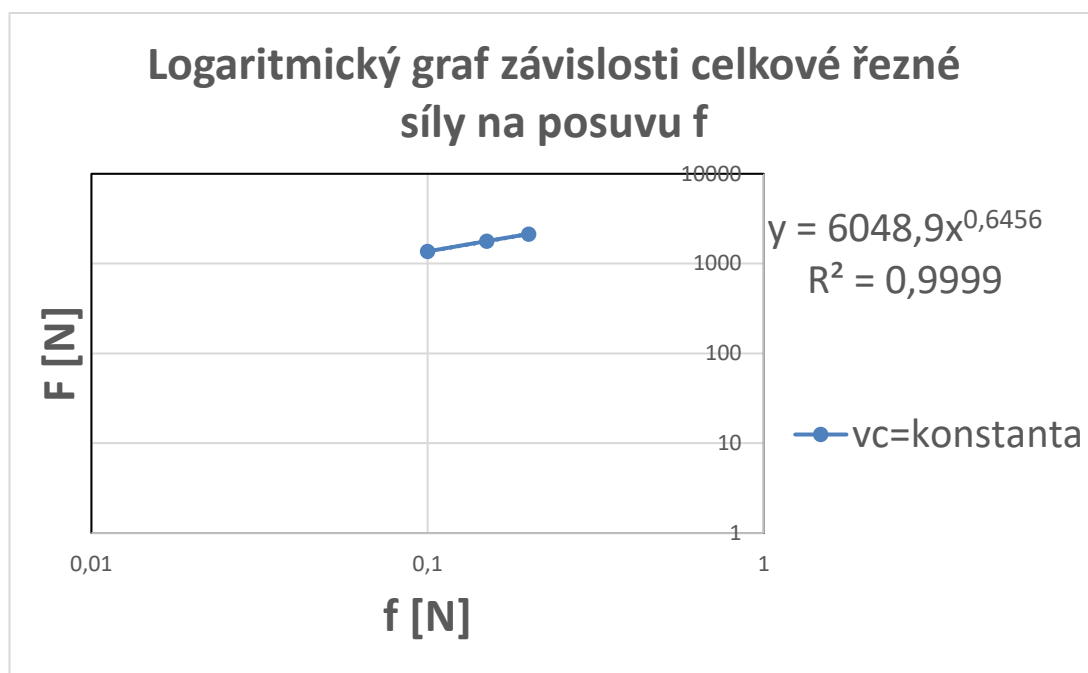


Graf 5.10 Zobrazení hodnot jednotlivých složek sil v závislosti na řezné rychlosti při konstantním posuvu $f = 0,15 \text{ mm}$

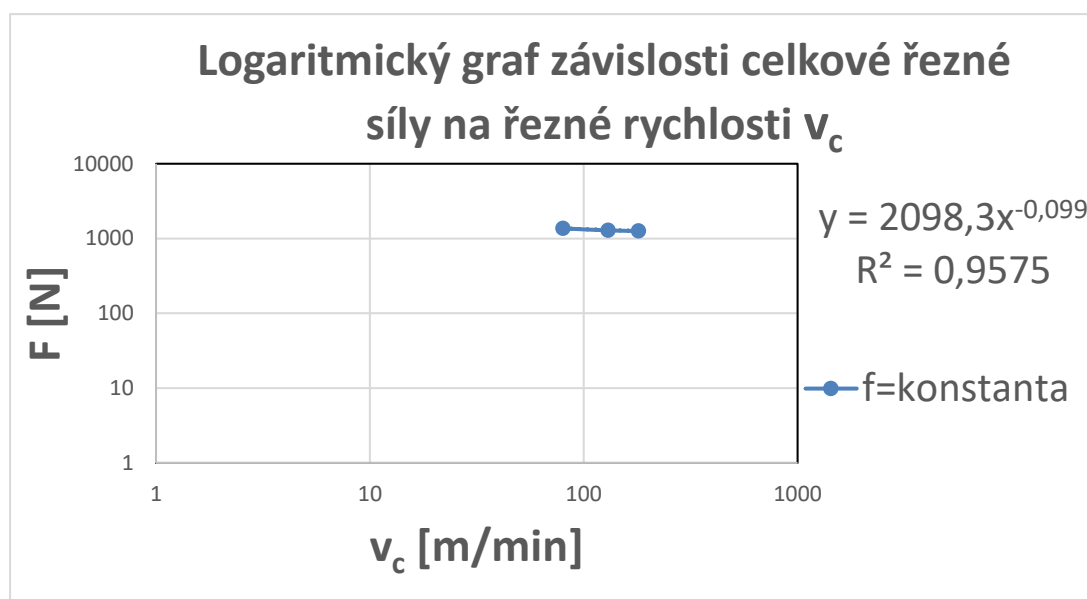
Graf (5.10) zobrazuje průběh jednotlivých složek sil a celkové řezné síly při měnící se řezné rychlosti a konstantním posuvu. Stejně jako u předchozích destiček zde má řezná složka síly klesající tendenci, i když mezi hodnotou při řezné rychlosti $v_c = 130 \text{ m/min}$ a $v_c = 180 \text{ m/min}$ je rozdíl téměř zanedbatelný (pouhých 22N). Posuvová složka síly také klesá při navýšení řezné rychlosti, ale je velmi zajímavé, že při dalším navýšení na řeznou rychlost $v_c = 180 \text{ m/min}$ její hodnota naopak stoupne a to dokonce na větší hodnotu, než při té nejnižší řezné rychlosti.

- **Strukturální rovnice celkové řezné síly:**

$$F = C_F \cdot f^{y_F} \cdot v_c^{z_F} = 9306,297 \cdot f^{0,6456} \cdot v_c^{-0,099} [N] \quad (5.10)$$

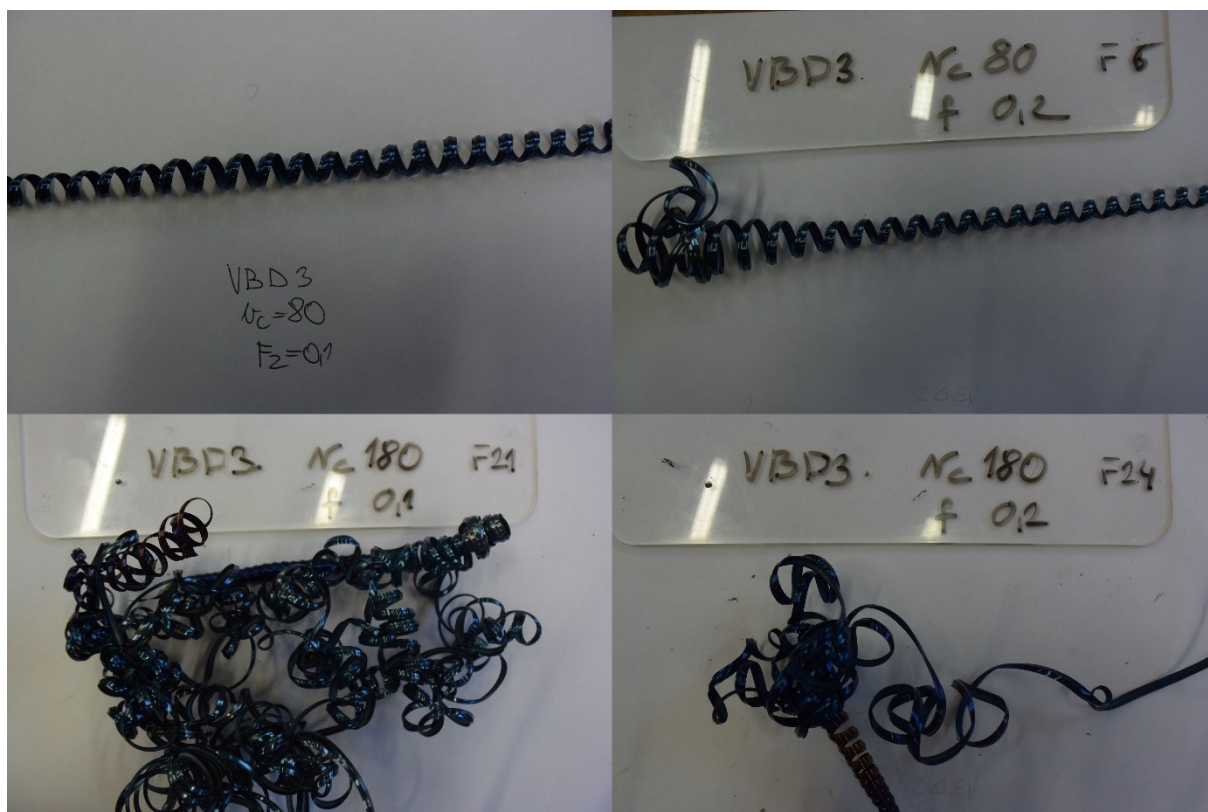


Graf 5.11 Vliv posuvu na celkovou řeznou sílu v logaritmickém grafu při konstantní řezné rychlosti $v_c = 130 \text{ m/min}$



Graf 5.12 Vliv řezné síly na celkovou řeznou sílu v logaritmickém grafu při konstantním posuvu $f = 0,15 \text{ mm}$

Příklady tvorby třísky:



Obr. 5.4 Příklady tvorby třísky při různých řezných podmínkách

Dle obrázku (5.4) lze zjistit, že při řezné rychlosti $v_c = 80$ m/min je tříska vinutá dlouhá, akorát při větším posuvu $f = 0,2$ mm se ke konci zápichu změnila na motanou. Při řezné rychlosti $v_c = 180$ m/min při jakémkoliv posuvu byla tříska motaná a neodcházela dostatečně rychle z místa řezu.

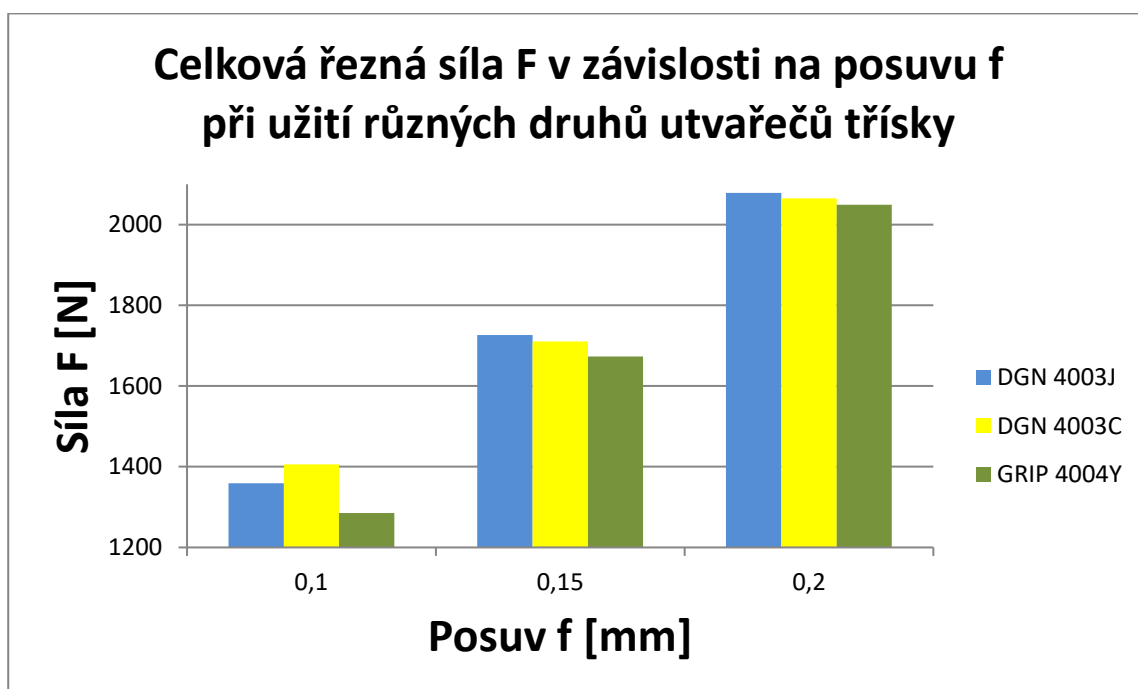
5.3 Zhodnocení experimentu

Z dosažených výsledků lze usoudit, že naměřené průběhy jednotlivých složek sil mají podobný charakter pro všechny použité typy vyměnitelných břitových destiček.

Například posuvová složka síly se při měnící řezné rychlosti v_c a konstantním posuvu f měnila jen nepatrně, někdy dokonce měla prvně klesající tendenci a následně byla hodnota naopak vyšší. Naopak při měnícím se posuvu f a konstantní řezné rychlosti měla výrazně stoupající tendenci. Nejvyšší naměřená hodnota posuvové složky síly $F_f = 1094$ N byla naměřena při použití vyměnitelné břitové destičky DGN 4003J, řezné rychlosti $v_c = 80$ m/min

a posuvu $f = 0,2$ mm. Nejnižší naměřená hodnota $F_f = 629$ N byla naměřena při řezné rychlosti $v_c = 180$ m/min a posuvu $f = 0,1$ mm, ale je zajímavé, že se jednalo o tutéž vyměnitelnou břitovou destičku.

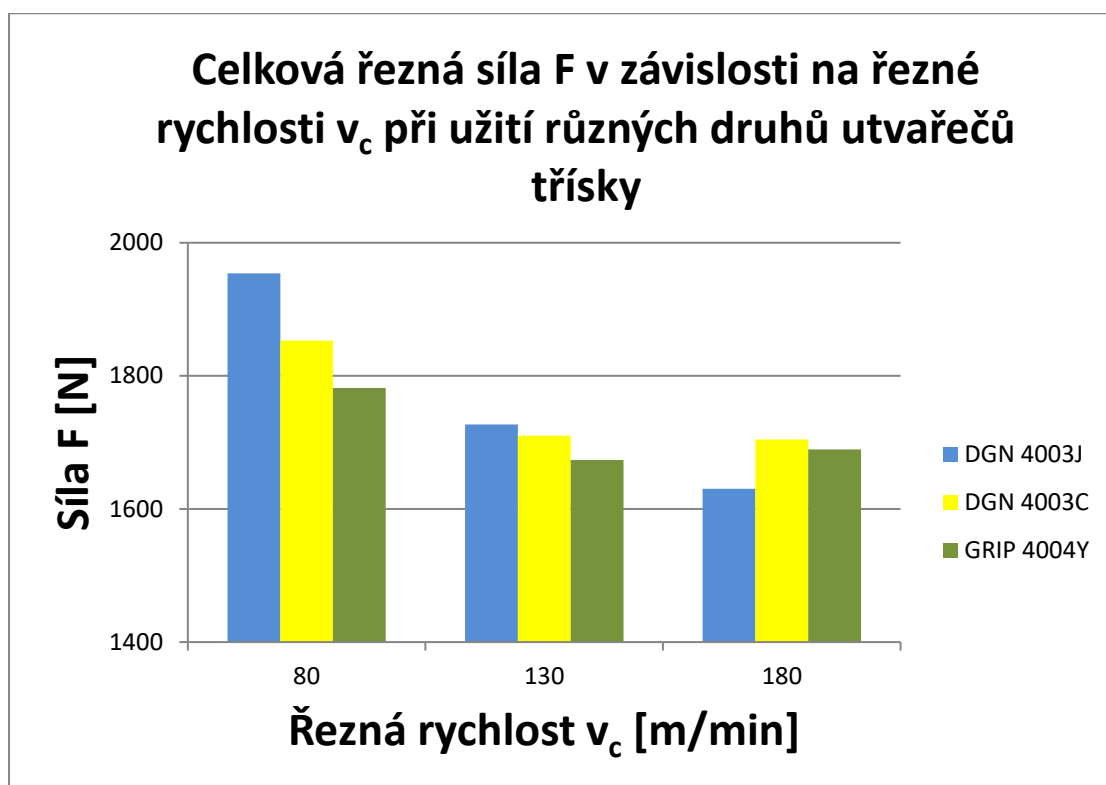
Hodnoty řezné složky síly se měnily obdobným způsobem. Nejvyšší naměřená hodnota řezné složky síly $F_c = 1889$ N byla naměřena při řezné rychlosti $v_c = 80$ m/min a posuvu $f = 0,2$ mm s použitím vyměnitelné břitové destičky DGN 4003C. Zároveň bylo zjištěno, že nejnižší hodnota řezné složky síly byla pro každou VBD za stejných řezných podmínek tj. řezné rychlosti $v_c = 180$ m/min a posuvu $f = 0,1$ mm.



*Graf 5.13 Poměr silového zatížení u odlišných utvařečů třísky při konstantní řezné rychlosti
 $v_c = 130$ m/min*

Na grafech (5.13, 5.14) lze vidět, jak se při různých řezných podmínkách měnila celková řezná síla při použití jednotlivých vyměnitelných břitových destiček. Lze si všimnout, že posuv ovlivnil celkovou řeznou sílu více, než řezná rychlost.

Bylo zjištěno, že při konstantní řezné rychlosti $v_c = 130$ m/min a měnícím se posuvu vychází nejlépe VBD GRIP 4004Y, jelikož je při všech posuvech nejméně zatížena, i když při posuvu $f = 0,2$ mm je rozdíl mezi jednotlivými VBD prakticky zanedbatelný. Naopak nejhůře zde vychází VBD DGN 4003J, kromě posuvu $f = 0,1$ mm, kde je nejvíce zatížena VBD DGN 4003C.



Graf 5.14 Poměr silového zatížení u odlišných utvařečů třísky při konstantním posuvu $f = 0,15 \text{ mm}$

Na grafu (5.14) lze vidět, že pro řezné rychlosti $v_c = 80$ a 130 m/min je nejvhodnější VBD GRIP 4004Y a naopak nejhorší DGN 4003J, jelikož je nejvíce zatížena celkovou řeznou silou. Pro řeznou rychlost $v_c = 180 \text{ m/min}$ to platí přesně naopak.

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zkoumat vliv utvařeče třísky zapichovací VBD na silové poměry při obrábění. Pro tento experiment byly vybrány tři vyměnitelné břitové destičky s odlišným utvařečem třísky od firmy ISCAR. Během experimentu se měnily řezné podmínky, kromě šířky řezu ap.

Dosažené výsledky:

DGN 4003J

Strukturální rovnice - $F = C_F \cdot f^{y_F} \cdot v_c^{z_F} = 16782,12 \cdot f^{0,4496} \cdot v_c^{-0,302} [N]$

Z hlediska zatížení sil se tato vyměnitelná břitová destička ukázala být velmi vhodnou pro řeznou rychlost $v_c = 180$ m/min. Při nejnižší řezné rychlosti je naopak nejhorší volbou, jelikož na ni působí velké síly a tudíž by její opotřebení bylo rychlejší, než u jiných vyměnitelných břitových destiček. Co se posuvu týče, rozdíly mezi jednotlivými VBD byly téměř zanedbatelné, kromě nejnižšího posuvu $f = 0,1$ mm, ale ani zde není tato destička nejvhodnější. Z hlediska třísky byla nejvhodnější konstantní řezná rychlost $v_c = 130$ m/min a libovolný posuv. Tvořila se zde krásná šroubovitá tříska. Při jiných řezných rychlostech a posuvech se velmi často namotávala, což není ideální.

Vhodné řezné podmínky – vysoká řezná rychlost a nízký posuv.

DGN 4003C

Strukturální rovnice - $F = C_F \cdot f^{y_F} \cdot v_c^{z_F} = 9778,828 \cdot f^{0,5299} \cdot v_c^{-0,149} [N]$

Tato vyměnitelná břitová destička byla téměř pro všechny řezné podmínky průměrná. Výjimku tvoří vysoká řezná rychlost a nízký posuv, kdy byla nejvíce silově zatíženou vyměnitelnou břitovou destičkou. Ani z hlediska tvorby třísky není tato destička ideální. Prakticky při všech řezných rychlostech a posuvech měla problémy s namotáváním třísky. Z experimentu vyplývá nevhodnost této vyměnitelné břitové destičky.

GRIP 4004Y

Strukturální rovnice - $F = C_F \cdot f^{y_F} \cdot v_c^{z_F} = 9306,297 \cdot f^{0,6456} \cdot v_c^{-0,099} [N]$

U téhle vyměnitelné břitové destičky je velmi zvláštní vliv řezné rychlosti. Při nízkých i středních řezných rychlostech je silově nejméně zatížena, což z ní dělá pro tyto řezné rychlosti vhodnou vyměnitelnou břitovou destičku. Ale při vysoké řezné rychlosti bylo náhle

silové zatížení naopak ještě větší, jak při střední řezné rychlosti, což naprosto odporuje naší teorii. Co se posuvu týče – pro všechny hodnoty byla tato destička nejvhodnější kvůli nejnižšímu silovému zatížení, obzvláště při posuvu $f = 0,1$ mm. Tríska se zde tvořila nejlépe při řezné rychlosti $v_c = 80$ m/min při libovolném posuvu. Čím větší řezná rychlost byla, tím větší byly i problémy s namotáváním třísky.

Vhodné řezné podmínky – nižší až střední řezné rychlosti při libovolném posuvu.

Použitá literatura:

- [1] BRYCHTA, J., ČEP, R., SADÍLEK, M., PETŘKOVSKÁ, L., NOVÁKOVÁ, J., Nové směry v progresivním obrábění, Ediční středisko VŠB – TU Ostrava, 2007, ISBN 978-80-248-1505-3
- [2] Kistler.com: KistlerSensors to Measure Forces [online]. 2014 [cit. 2016-01-25]. Dostupné z: <https://www.kistler.com/cz/en/products/components/force-sensors/>
- [3] ISCAR. Přehled řezných materiálů ISCAR [online]. ISCAR, 2011. Dostupné z: http://www.iscar.com/Ecat/WZ/iscar_grade_chart.pdf
- [4] KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie výroby II: Řešené příklady. Brno, 2002. Vysoké učení technické v Brně.
- [5] NESLUŠAN, M.: Sústružení kalených ocelí, Edis Žilina 2009, ISBN 978-80-554-104-1
- [6] MORYS, Jiří. Vliv utvařeče třísky na silové poměry při obrábění oceli [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/114924/MOR0066_FS_N2301_2303T002_20_2_016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [7] Iscar.com.Iscareletroniccatalog [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog>
- [8] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno. 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [9] WISCHNAT. WISCHNAT - Zerspanungstechnik [online]. WISCHNAT - Zerspanungstechnik, 2013 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.wischnat-zerspanungstechnik.de/maschinen/mori-seiki-nlx-2500-700.htm>
- [10] Multicomponent Dynamometer. Kistler.com [online]. Eulachstrasse 22, 8408 Winterthur, Switzerland: Kistler Group, 2009 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <https://www.kistler.com/?type=669&fid=60799&model=document&callee=frontend>
- [11] Ccsteels. Technical specifications [online]. LonghaiSteel, 2015. Dostupné z: http://www.ccsteels.com/Structural_steel/2593.html

Seznam elektronických příloh:

- Příloha č.1 – Bakalářská práce – výpočty – tabulky a grafy
Příloha č.2 – Strukturální rovnice